

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平8-171054

(43)公開日 平成8年(1996)7月2日

(51)Int.Cl.⁶

G 0 2 B 17/08

識別記号

A

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数7 OL (全12頁)

(21)出願番号 特願平6-313354

(22)出願日 平成6年(1994)12月16日

(71)出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72)発明者 大村 泰弘

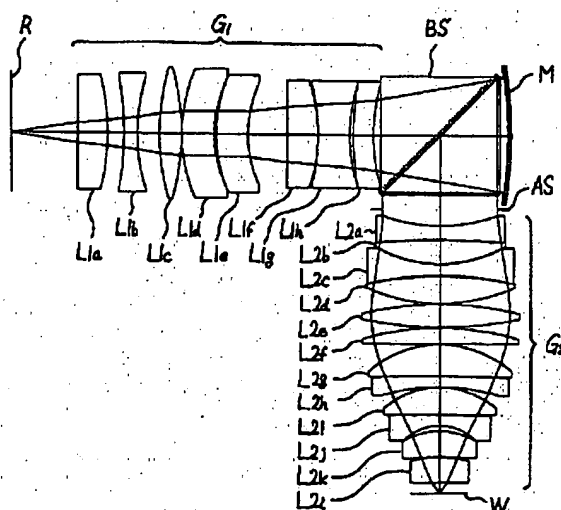
東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

(54)【発明の名称】 反射屈折光学系

(57)【要約】

【目的】 像側における大開口数を達成し、像側作動距離を十分に確保した上でビームスプリッタの小型化を図り、クォーターミクロンの解像を得る。

【構成】 本発明において、第1面Rからの光は、第1レンズ群G₁、ビームスプリッタBS、拡大倍率の凹面鏡M、ビームスプリッタBS及び第2レンズ群G₂の順に通過して第2面W上に達し、第2面W上には第1面Rの縮小像が形成される。本発明は、上述の構成に基づいて凹面鏡Mの結像倍率の好適な範囲と、第2レンズ群G₂の好適な構成とを見出したものである。



1

【特許請求の範囲】

【請求項1】第1面の縮小像を第2面上に形成する反射屈折光学系において、

第1レンズ群、ビームスプリッタ、拡大倍率を有する凹面鏡及び第2レンズ群を含み、前記第1面からの光を前記第1レンズ群及び前記ビームスプリッタの順に通過させて前記凹面鏡に導くと共に、前記凹面鏡にて反射された前記ビームスプリッタからの光を前記ビームスプリッタ及び前記第2レンズ群の順に通過させて前記第2面に導き、

前記第2レンズ群の後側主点位置は前記第2レンズ群の前記ビームスプリッタ側の光線入射面位置よりも像側に位置し、

以下の条件を満足することを特徴とする反射屈折光学系。

$$-1 < 1/\beta_1 < 0.5$$

$$0.85 < L_1/f_2$$

但し、 β_1 ：前記凹面鏡の結像倍率、

L_1 ：前記後側主点位置と前記光線入射面との距離、

f_2 ：前記第2レンズ群の焦点距離、

である。

【請求項2】前記反射屈折光学系全体の結像倍率を β とし、前記第2レンズ群の結像倍率を β_2 とすると、以下の条件を満足することを特徴とする請求項1記載の反射屈折光学系。

$$-1 < \beta_2/\beta < 1$$

【請求項3】前記ビームスプリッタは、プリズム型ビームスプリッタから構成されることを特徴とする請求項1または2記載の反射屈折光学系。

【請求項4】前記プリズム型ビームスプリッタの前記第2レンズ群側の射出面を含む像側には開口絞りが設けられ、以下の条件を満足することを特徴とする請求項3記載の反射屈折光学系。

$$0.26 < D_1/f_1 < 1.00$$

但し、 D_1 ：前記凹面鏡と前記開口絞りととの間の空気換算距離、

f_1 ：前記凹面鏡の焦点距離、

である。

【請求項5】前記ビームスプリッタの前記第2レンズ群側の射出面と前記第2面との間の空気換算距離を D_2 とし、前記第2レンズ群の焦点距離を f_2 とし、前記反射屈折光学系の前記第2面側における開口数をNAとすると、

以下の条件を満足することを特徴とする請求項4記載の反射屈折光学系。

$$D_2 \cdot NA/f_2 > 0.70$$

【請求項6】以下の条件を満足することを特徴とする請求項4または5記載の反射屈折光学系。

$$(\phi_s^{1/2} - 4d_1 \cdot NA) / (f_2 \cdot (NA)^2) <$$

4

2

但し、 ϕ_s ：前記ビームスプリッタの方向変換面の前記第2レンズ群側の射出面への正射影の面積、

d_1 ：前記反射屈折光学系の前記第2面側における作動距離、

NA：前記反射屈折光学系の前記第2面側における開口数、

f_2 ：前記第2レンズ群の焦点距離、

である。

【請求項7】前記第1及び第2レンズ群は、少なくとも二種類の異なる材質からなる屈折要素から構成され、

前記第1レンズ群は、蛍石からなる負レンズ成分を有し、

前記第2レンズ群は、蛍石からなる正レンズ成分を有することを特徴とする請求項1乃至5のいずれか一項記載の反射屈折光学系。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、例えば半導体素子、又は液晶表示素子等をフォトリソグラフィ工程で製造する際に使用される投影露光装置用の、縮小投影用の投影光学系に適用して好適な反射屈折縮小光学系に関し、特に光学系の要素として反射系を用いることにより、紫外線波長域でクォーターミクロン単位の解像度を有する反射屈折縮小光学系に関する。

【0002】

【従来の技術】半導体素子等を製造するためのフォトリソグラフィ工程において、フォトリソグラフィ又はレチクル（以下、まとめて「レチクル」という）のパターン像を投影光学系を介して例えば1/4乃至1/5程度に縮小して、フォトリソグレイ等が塗布されたウェハ（又はガラスプレート等）上に露光する投影露光装置が使用されている。半導体素子等の集積度が向上するにつれて、投影露光装置に使用されている投影光学系に要求される解像力は益々高まっている。この要求を満足するために、照明光の波長を短く且つ投影光学系の開口数（N.A.）を大きくする必要が生じている。

【0003】しかしながら、照明光の波長が短くなると、光の吸収によって実用に耐える硝材の種類は限られ、波長が300nm以下になると実用上使える硝材は合成石英と蛍石だけとなる。これにより屈折系だけで投影光学系を構成すると、色収差をはじめ各諸収差補正が困難となる。これに対して反射系は色収差がないため、反射系と屈折系とを組み合わせた所謂反射屈折光学系で縮小投影光学系を構成する技術が提案されている。

【0004】反射系に対する光束の入出力を行うための光路変換用ビームスプリッターを有する反射屈折縮小光学系としては、例えば特開平2-66510号公報、特開平4-235516号公報及び特開平5-72478号公報等に開示されている。ここで、上記公報に開示される反射屈折縮小光学系に含まれている凹面鏡は、すべ

50

て縮小倍率を持つ収斂鏡であった。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】上記の如き従来の反射屈折縮小光学系においては、凹面鏡が縮小倍率を有しているため、凹面鏡よりも像側の光路に配置されるレンズ群の結像倍率が大きなものとなっていた。従って、従来の反射屈折縮小光学系において大きな開口数を得ようとすると、それにほぼ比例してビームスプリッターの口径を大きくする必要があり、これは製造上困難であると共に、製造コストも高くなり過ぎるという不都合がある。そして、凹面鏡が縮小倍率を有しているため、ビームスプリッタから像面までの距離が短くなり、像側における作動距離を十分に確保することが困難である。また、ビームスプリッターの方向変換面に入射する光束の光線の角度が各々違うことによる、結像性能の劣化も避けることが出来ない。

【0006】そこで、本発明は、像側において大きな開口数を達成し、かつ十分な像側作動距離を確保し、さらにビームスプリッタの小型化を図ることができるクォーターミクロン単位の解像をもつ反射屈折光学系を提供することを目的とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】上述の目的を達成するために、本発明による反射屈折光学系は、例えば図1に示す如く、第1面Rの縮小像を第2面W上に形成する反射屈折光学系であって、第1レンズ群G₁、ビームスプリッタBS、拡大倍率を有する凹面鏡M及び第2レンズ群G₂を含むように構成される。そして、該反射屈折光学系は、第1面Rからの光を第1レンズ群G₁及びビームスプリッタBSの順に通過させて凹面鏡Mに導くと共に、凹面鏡Mにて反射されたビームスプリッタBSからの光をビームスプリッタBS及び第2レンズ群G₂の順に通過させて第2面Wに導き、第2レンズ群G₂の後側主点位置は第2レンズ群G₂のビームスプリッタBS側の光線入射面位置よりも像側に位置し、以下の条件を満足するように構成される。

【0008】

$$-1 < 1/\beta_M < 0.5 \quad \dots (1)$$

$$0.85 < L_1/f_2 \quad \dots (2)$$

但し、 β_M ：凹面鏡Mの結像倍率、

L_1 ：後側主点位置と光線入射面との距離、

f_2 ：第2レンズ群G₂の焦点距離、

である。

【0009】

【作用】上述の構成の如き本発明においては、凹面鏡Mが拡大倍率を有するため、第2レンズ群G₂に大きな正屈折力を持たせることができる。この構成により、ビームスプリッタBSの大型化を図ることなく、像側において大きな開口数を達成し、かつ十分な可動距離を確保することができる。

【0010】そして、本発明においては、ビームスプリッタBS内を通過する光束中の各々の光線の方向変換面への入射角の角度差を小さくできるため、ビームスプリッタBSによる結像性能の劣化を防ぐことができる利点を有する。次に、条件式について詳述する。条件式(1)は凹面鏡Mの好適な結像倍率の範囲についての条件である。この条件式の下限を超えると、第2レンズ群G₂に大きな正屈折力を持たせることが困難となり、像側において大きな開口数を達成するためにはビームスプリッタBS自体の大型化を図る必要が生じる。このときには、ビームスプリッタBSの製造が困難となり、また製造コストの上昇を招く。そして、ビームスプリッタBSと像面との間の距離を十分に確保できなくなるため、十分な作動距離を確保することが困難になる。さらに、凹面鏡MからビームスプリッタBSの方向変換面に向かう光束が収斂光束となるため、この光束中の光線において入射角の角度差が大きくなり、結像性能を低下を招く。なお、この条件式(1)の下限を -0.8 とし、 $-0.8 < 1/\beta_M$ とすることが好ましい。

【0011】また、条件式(1)の上限を超えると、凹面鏡Mが担っている正の屈折力が小さくなるため、収差補正が困難となる。なお、さらに収差補正を良好とするためには、条件式(1)の上限を 0.2 とし、 $1/\beta_M < 0.2$ とすることが好ましい。条件式(2)は第2レンズ群G₂の好適な構成についての条件である。ここで、第2レンズ群G₂が条件式(2)を満足しない場合、すなわち条件式(2)の下限を超える場合には、ビームスプリッタBSの径の大型化を免れることができないばかりか、像側における作動距離を実用上十分に確保できなくなるため好ましくない。なお、上記条件式(2)の上限を 6.0 とし、 $L_1/f_2 < 6.0$ とすることが望ましい。この上限値を超える場合には、大きな開口数を得ようとすると、収差補正が困難になるばかりでなく、光学系の全長が長くなり過ぎ、半導体製造装置に用いる投影光学系として不適当である。なお、本発明において、さらに大きな開口数を得ることとビームスプリッタBSの小型化とを考慮すると、条件式(2)の下限値を 1.35 とし、 $1.35 < L_1/f_2$ とすることが望ましい。

【0012】なお、本発明におけるビームスプリッタBSは、偏光方向によって光を分離する偏光ビームスプリッタであることが好ましい。また、このときには、ビームスプリッタBSと凹面鏡Mとの間の光路中には入/4板が配置される。また、本発明においては、第2レンズ群G₂の結像倍率 β_2 は、本発明の反射屈折光学系全体の結像倍率を β とすると、以下の条件を満足することが好ましい。

【0013】

$$-1 < \beta_2/\beta < 1 \quad \dots (3)$$

条件式(3)は、第2レンズ群G₂の結像倍率の好適な

範囲についての条件である。この条件式(3)の下限を超えると、ビームスプリッタBSの口径の大型化を伴うことなく、大きな開口数を得ることができなくなるため好ましくない。また、条件式(3)の上限を超えると、本発明の反射屈折光学系における屈折光学要素(例えば第1レンズ群G₁、第2レンズ群G₂)が担う屈折力が大きくなり過ぎ、すなわち反射光学要素(凹面鏡M)の効果が小さくなり、収差補正上において困難を来すため好ましくない。

【0014】本発明においては、ビームスプリッタBSをプリズム型ビームスプリッタとすることが好ましい。そして、開口絞りASは、このプリズム型ビームスプリッタの射出面を含む像側に設けられることが好ましい。ここで、開口絞りASは、以下の条件式を満足するように配置されることが好ましい。

$$0.26 < D_1 / f_w < 1.00 \quad \dots (4)$$

但し、D₁：凹面鏡Mと開口絞りASとの間の空気換算距離、

f_w：凹面鏡Mの焦点距離、

である。

【0015】ここで、空気換算距離とは、それぞれの媒体の各々の距離と屈折率との商の和として定義される縮小距離であり、空気換算距離をd_iとし、媒体の各々の距離をd_iとし、各々の媒体の屈折率をn_iとすると、下式にて表される。

【0016】

【数1】

$$dt = \sum \frac{d_i}{n_i}$$

【0017】条件式(4)は、開口絞りASの配置について好適な範囲を定める条件式である。この条件式の下限を超えると、開口絞りASが凹面鏡Mに近づき過ぎる、または凹面鏡Mの焦点距離が長くなり過ぎる。この*

$$(\phi_s^{1/2} - 4d_r \cdot NA) / (f_2 \cdot (NA)^2) < 4 \quad \dots (6)$$

但し、φ_s：ビームスプリッタBSの方向変換面の第2レンズ群G₂側の射出面への正射影の面積、

d_r：反射屈折光学系の第2面W側における作動距離、

NA：反射屈折光学系の第2面W側における開口数、

f₂：第2レンズ群G₂の焦点距離、

である。

【0020】条件式(6)は、像側開口数、像側作動距離及びビームスプリッターの口径に対する第2レンズ群G₂の好適な焦点距離の範囲を定めるための条件式である。この条件式(6)を満足しない場合には、製造上において困難となるため好ましくない。また、ビームスプリッタBSの方向変換面上に薄膜を設ける場合やビームスプリッタBSに入/4板を設ける場合においては、ここでの波面収差の発生量が無視できなくなり像の劣化が著しくなるため好ましくない。なお、製造上の容易性を増し、かつ結像性能の向上を図るためには、この条件式

*ときには、ビームスプリッタBSの小型化を図ることが困難となり、また方向変換面に入射する光線の入射角の角度差を小さくすることが困難となるため好ましくない。ここで、本発明の反射屈折光学系において、上述の条件式(1)および(3)を満足している場合、上記条件式(4)の下限を超えときには、実用上において十分な像側作動距離を得ることが不可能となるばかりでなく、製造上において開口絞りの配置が困難となるため好ましくない。一方、条件式(4)の上限を超えると、軸外光束の収差、特にコマ収差の補正が困難となるため好ましくない。

【0018】また、本発明の反射屈折光学系は、ビームスプリッタBSの第2レンズ群G₂側の射出面と第2面Wとの間の空気換算距離をD₂とし、第2レンズ群G₂の焦点距離をf₂とし、反射屈折光学系の第2面W側における開口数をNAとすると、以下の条件を満足することが好ましい。

$$D_2 \cdot NA / f_2 > 0.70 \quad \dots (5)$$

条件式(5)はビームスプリッターと像面との好適な間

隔についての条件式である。この条件式(5)を満足しないと、実用上十分な像側作動距離を保つ場合に、第2レンズ群G₂のためのスペースが小さくなり、第2レンズ群G₂を構成する屈折光学素子の枚数に制限が生じ、収差補正が困難となるため好ましくない。また、条件式(5)を満足しない場合には、上記条件式(3)を満足するように第2レンズ群G₂を構成することが困難となるため好ましくない。なお、大きな像側開口数を達成し、かつ十分な像側作動距離を確保しつつビームスプリッタの小型化を図るためには、条件式(5)における上限を1.0とし、D₂・NA/f₂<1.0とすることが望ましい。

【0019】また、本発明においては、以下の条件式(6)を満足するように構成されることが望ましい。

$$(\phi_s^{1/2} - 4d_r \cdot NA) / (f_2 \cdot (NA)^2) < 4 \quad \dots (6)$$

(6)の上限を3.5とし、(φ_s^{1/2} - 4d_r・NA) / (f₂・(NA)²) < 3.5とすることが望ましい。

【0021】なお、本発明による反射屈折光学系において、300nm以下の波長においてクォーターミクロン単位の解像を満足させつつ色収差を補正するためには、第1レンズ群G₁及び第2レンズ群G₂を少なくとも二種類の異なる材質からなる屈折要素で構成することが好ましい。このとき、第1レンズ群G₁は蛍石からなる負レンズ成分を有し、かつ第2レンズ群は蛍石からなる正レンズ成分を有するように構成されることが望ましい。

【0022】この構成を満足する場合には、蛍石からなる負レンズ成分を有する第1レンズ群G₁によって倍率色収差を補正することが可能となり、蛍石からなる正レンズ成分を有する第2レンズ群G₂によって軸上色収差を補正することができる。また、本発明においては、凹

面鏡Mの倍率を上記条件(1)を満足するように構成しているため、ビームスプリッタBSと第2面Wとの間に配置される第2レンズ群G₂のためのスペースを十分に確保できる。従って、各レンズ群の屈折要素を上述の如く構成すれば、300nm以下の波長においてクォーターミクロン単位の解像を満足しつつ色収差を補正することが可能となる。

【0023】尚、本発明においては、ビームスプリッタと第2レンズ群との間の光束がアフォーカルな光束とすることが望ましい。また、本発明においては、ビームスプリッタBSと凹面鏡Mとの間に、収差補正のためのレンズ群を設けても良い。

【0024】

【実施例】以下、図面を参照して本発明による各実施例を説明する。図1は、本発明の第1実施例にかかる反射屈折光学系の光学構成を示す光路図である。図1において、図示なき照明光学系は、例えばArFエキシマレーザの照明光によって、所定のパターンが設けられたレチクルRを照明する。このレチクルRからの光は、第1レンズ群G₁を通過した後、ビームスプリッタBSの方向変換面を透過し、凹面反射鏡Mにて反射され、再びビームスプリッタBSに入射する。凹面反射鏡Mからの光は、ビームスプリッタBSの方向変換面にて反射された後に、ビームスプリッタBSの射出面側に設けられた開口絞りASを通過して、第2レンズ群G₂を通過し、ウェハW上に達する。このウェハW上には、レチクルRの縮小像が形成される。

【0025】ここで、本実施例においては、ビームスプリッタBSは、互いに接合された2つの直角プリズムから構成されている。そして、一方の直角プリズムの斜面上には薄膜が蒸着されている。本実施例では、ビームスプリッタBSの接合面上の薄膜が第1レンズ群G₁からの光を透過させ、かつ凹面鏡Mからの光を反射させる機能を有する。

【0026】次に、図1を参照して第1実施例における各レンズ群のレンズ構成を説明する。第1レンズ群G₁は、物体側から順に、ビームスプリッタBS側により強い凸面を向けた両凸形状の正レンズ成分L1aと、両凹形状の負レンズ成分L1bと、両凸形状の正レンズ成分L1cと、物体側に凸面を向けたメニスカス形状の負レンズ成分L1dと、同じく物体側に凸面を向けたメニスカス形状の負レンズ成分L1eと、物体側に凹面を向けたメニスカス形状の正レンズ成分L1fと、両凹形状の負レンズ成分L1gと、物体側に凸面を向けたメニスカス形状の負レンズ成分L1hとから構成される。

$$d_0 = 94.539$$

	r	d	硝材
1	-5313.040	42.330	SiO ₂
2	-329.118	23.191	
3	-454.958	18.864	CaF ₂

【0027】また、第2レンズ群G₂は、開口絞りAS側から順に、両凹形状の負レンズ成分L2aと、両凸形状の正レンズ成分L2bと、両凹形状の負レンズ成分L2cと、両凸形状の正レンズ成分L2dと、両凸形状の正レンズ成分L2eと、開口絞りAS側により強い凸面を向けた両凸形状の正レンズ成分L2fと、同じく開口絞りAS側により強い凸面を向けた両凸形状の正レンズ成分L2gと、開口絞りAS側に凸面を向けたメニスカス形状の負レンズ成分L2hと、開口絞りAS側に凸面を向けたメニスカス形状の正レンズ成分L2iと、開口絞りAS側に凸面を向けたメニスカス形状の負レンズ成分L2jと、開口絞りAS側に凸面を向けたメニスカス形状の正レンズ成分L2kと、同じく開口絞りAS側に凸面を向けたメニスカス形状の正レンズ成分L2lとから構成される。

【0028】以下の表1に本実施例の諸元の値が掲げられる。本実施例において、全系の倍率は1/4倍(縮小)であり、ウェハW側の開口数NAは0.6であり、ウェハW側における作動距離は15.0mmである。そして、本実施例の反射屈折光学系のウェハW上の露光領域を表す平面図である図2に示す如く、第1実施例の反射屈折光学系は、ウェハW上における光軸Axからの像高が15.3mmまでの範囲において30mm×6mmのスリット状の露光領域を有する。また、本実施例におけるビームスプリッタBSは、170mm×170mm×190mmの直方体形状である。

【0029】また、表1においては、物体面としてのレチクルRのパターン形成面に相当する第1面から像面としてのウェハW面に相当する第2面へ向かう順序で各面の曲率半径r、面間隔dおよび硝材を示している。表1中において、各面の曲率半径rの符号は、レチクルRと凹面鏡Mとの間ではレチクルR側に凸面を向ける場合を正としており、ビームスプリッタBSとウェハWの間ではビームスプリッタBS側に凸面を向ける場合を正としている。また、面間隔dの符号は、凹面鏡MからビームスプリッタBSの方向変換面に到る光路では負にとり、他の光路では正にとる。そして、硝材として、CaF₂は蛍石、SiO₂は石英ガラスをそれぞれ表す。ここで、石英ガラスおよび蛍石の使用基準波長(ArFレーザの波長: $\lambda = 193.4\text{nm}$)における屈折率は以下の通りである。

石英ガラス: 1.56019

蛍石: 1.50138

【0030】

【表1】(第1実施例)

(6)

特開平8-171054

9

10

4	272.492	31.123
5	338.834	31.042
6	-344.186	0.500
7	229.022	45.000
8	184.586	2.298
9	208.542	45.000
10	1732.582	56.174
11	-4435.970	42.860
12	-244.757	0.500
13	-288.840	45.000
14	233.444	5.342
15	433.000	29.121
16	268.594	10.042
17	0.000	170.000
18	0.000	10.000
19	-623.184	-10.000
20	0.000	-85.000
21	0.000	85.000
22	0.000	20.000
23	0.000	22.917
24	-246.212	19.407
25	1018.290	0.657
26	1228.970	32.523
27	-190.064	0.500
28	-191.929	15.000
29	424.920	1.933
30	503.632	37.933
31	-260.380	0.500
32	441.375	32.753
33	-563.177	0.500
34	378.243	23.321
35	-13558.170	0.500
36	152.386	44.866
37	3098.000	0.500
38	2231.920	15.006
39	296.582	0.533
40	123.151	38.469
41	7856.190	0.815
42	7240.660	15.000
43	74.423	7.394
44	103.429	35.012
45	292.945	1.711
46	192.719	34.643
47	1452.820	15.000

S i O₂S i O₂S i O₂S i O₂C a F₂S i O₂S i O₂

ビームスプリッタBS

凹面反射鏡M

S i O₂S i O₂

方向変換面

開口絞りAS

S i O₂C a F₂S i O₂C a F₂C a F₂C a F₂C a F₂S i O₂C a F₂S i O₂C a F₂S i O₂

以下に第1実施例における条件対応値を示す。

(1) $1/\beta_v = -0.062$

(2) $L_1/f_2 = 1.842$

(3) $\beta_2/\beta = -0.10$

(4) $D_1/f_v = 0.45$

(5) $D_2 \cdot NA/f_2 = 1.37$

(6) $(\phi_B^{1/2} - 4d_v \cdot NA) / (f_2 \cdot (NA)^2) = 3.03$

図3に第1実施例の横収差図を示す。ここで、図3(a)は像高10割(像高15.3mm)における横収差図であり、図3(b)は像高5割(像高7.65mm)における横収差図であり、図3(c)は像高0割(光軸上:像高

0.0mm)における横収差図である。なお、各横収差図において、実線は基準波長($\lambda = 193.4\text{nm}$)における収差曲線を表し、点線は波長 $\lambda = 193.5\text{nm}$ における収差曲線、一点鎖線は波長 $\lambda = 193.45\text{nm}$ における収差曲線、破線は $\lambda = 193.35\text{nm}$ における収差曲線、二点鎖線は波長 $\lambda = 193.3\text{nm}$ における収差曲線をそれぞれ表す。図3に示す各横収差図より、本実施例による反射屈折光学系は、 $NA = 0.6$ という非常に大きな開口数を達成しているにも拘わらず、良好に収差が補正され、特に $193.4\text{nm} \pm 0.1\text{nm}$ での色収差補正がなされており、優れた結像性能を有していることが分かる。次に図4を参照して本発明による第2実施例を説明する。図4は、本発明の第2実施例による反射屈折光学系の構成を示す光路図である。

【0031】図4の反射屈折光学系の基本的な構成は、図1に示す第1実施例の反射屈折光学系とほぼ同じであるため、ここでは説明を省略し、各レンズ群のレンズ構成についてのみ説明する。図4において、第1レンズ群 G_1 は、物体側から順に、物体側に凸面を向けたメニスカス形状の負レンズ成分 $L1a$ と、両凸形状の正レンズ成分 $L1b$ と、両凸形状の正レンズ成分 $L1c$ と、両凹形状の負レンズ成分 $L1d$ と、物体側に凹面を向けたメニスカス形状の正レンズ成分 $L1e$ と、両凹形状の負レンズ成分 $L1f$ と、物体側に凸面を向けたメニスカス形状の負レンズ成分 $L1g$ とから構成される。

【0032】また、第2レンズ群 G_2 は、開口絞りAS側から順に、両凹形状の負レンズ成分 $L2a$ と、両凸形状の正レンズ成分 $L2b$ と、両凹形状の負レンズ成分 $L2c$ と、両凸形状の正レンズ成分 $L2d$ と、同じく両凸形状の正レンズ成分 $L2e$ と、開口絞りAS側に凸面を向けたメニスカス形状の正レンズ成分 $L2f$ と、開口絞りAS側により強い凸面を向けた両凸形状の正レンズ成分 $L2g$ と、開口絞りAS側に凸面を向けたメニスカス形状の負レンズ成分 $L2h$ と、開口絞りAS側に凸面を向けたメニスカ

$$d_0 = 111.403$$

	r	d	硝材
1	5471.605	15.000	CaF ₂
2	272.290	2.678	
3	277.567	31.750	SiO ₂
4	-278.590	0.500	
5	307.964	38.658	SiO ₂
6	-321.548	0.500	
7	-307.926	28.172	CaF ₂
8	185.540	116.871	
9	-6054.190	45.000	SiO ₂
10	-326.561	3.925	
11	-437.618	18.547	CaF ₂
12	429.454	3.774	
13	791.303	28.999	CaF ₂
14	197.545	13.348	

ス形状の正レンズ成分 $L2i$ と、ウェハW側により強い凹面を向けた両凹形状の負レンズ成分 $L2j$ と、開口絞りAS側に凸面を向けたメニスカス形状の正レンズ成分 $L2k$ と、同じく開口絞りAS側に凸面を向けたメニスカス形状の正レンズ成分 $L2l$ とから構成される。以下の表2に本実施例の諸元の値が掲げる。本実施例においては上記第1実施例と同様に、全系の倍率は $1/4$ 倍(縮小)であり、ウェハW側の開口数NAは0.6であり、ウェハW側における作動距離は15.0mmである。そして、本実施例の反射屈折光学系は、上記第1実施例と同様に、ウェハW上における光軸Axからの像高が15.3mmまでの範囲において30mm×6mmのスリット状の露光領域を有する。また、本実施例におけるビームスプリッタBSは、170mm×170mm×190mmの直方体形状である。

【0033】また、表2においては、物体面としてのレチクルRのパターン形成面に相当する第1面から像面としてのウェハW面に相当する第2面へ向かう順序で各面の曲率半径 r 、面間隔 d および硝材を示している。表2中において、各面の曲率半径 r の符号は、レチクルRと凹面鏡Mとの間ではレチクルR側に凸面を向ける場合を正としており、ビームスプリッタBSとウェハWの間ではビームスプリッタBS側に凸面を向ける場合を正としている。また、面間隔 d の符号は、凹面鏡MからビームスプリッタBSの方向変換面に到る光路では負にとり、他の光路では正にとる。そして、硝材として、CaF₂は蛍石、SiO₂は石英ガラスをそれぞれ表す。ここで、石英ガラスおよび蛍石の使用基準波長(ArFレーザの波長： $\lambda = 193.4\text{nm}$)における屈折率は以下の通りである。

石英ガラス：1.56019

蛍石：1.50138

【0034】

【表2】〔第2実施例〕

13				14
15	0.000	170.000	SiO ₂	ビームスプリッタBS
16	0.000	10.000		
17	-600.094	-10.000		凹面反射鏡M
18	0.000	-85.000	SiO ₂	
19	0.000	85.000	SiO ₂	方向変換面
20	0.000	5.000		
21	0.000	18.267		開口絞りAS
22	-228.968	15.000	SiO ₂	
23	602.629	1.000		
24	596.556	39.120	CaF ₂	
25	-193.759	0.500		
26	-198.735	15.599	SiO ₂	
27	414.383	1.371		
28	466.129	43.827	CaF ₂	
29	-250.352	0.500		
30	607.920	26.660	CaF ₂	
31	-570.532	0.500		
32	319.703	24.752	CaF ₂	
33	5248.170	0.500		
34	150.926	44.958	CaF ₂	
35	-11154.640	0.500		
36	6931.942	15.000	SiO ₂	
37	324.944	0.500		
38	123.172	38.693	CaF ₂	
39	27743.950	0.506		
40	-22043.850	15.000	SiO ₂	
41	73.840	8.552		
42	103.200	33.698	CaF ₂	
43	346.408	1.818		
44	217.213	33.291	SiO ₂	
45	1371.742	15.000		

以下に第2実施例における条件対応値を示す。

- (1) $1/\beta_s = -0.077$
- (2) $L_1/f_2 = 1.924$
- (3) $\beta_2/\beta = -0.13$
- (4) $D_1/f_s = 0.41$
- (5) $D_2 \cdot NA/f_2 = 1.31$
- (6) $(\phi_s^{1/2} - 4d_v \cdot NA) / (f_2 \cdot (NA)^2) = 3.09$

図5に第2実施例の横収差図を示す。ここで、図5(a)は像高10割(像高15.3mm)における横収差図であり、図5(b)は像高5割(像高7.65mm)における横収差図であり、図5(c)は像高0割(光軸上:像高0.0mm)における横収差図である。なお、各横収差図において、実線は基準波長($\lambda = 193.4\text{nm}$)における収差曲線を表し、点線は波長 $\lambda = 193.5\text{nm}$ における収差曲線、一点鎖線は波長 $\lambda = 193.45\text{nm}$ における収差曲線、破線は $\lambda = 193.35\text{nm}$ における収差曲線、二点鎖線は波長 $\lambda = 193.3\text{nm}$ における収差曲線をそれぞれ表す。図5に示す各横収差図より、本実施例による反射屈折光学系

は、 $NA = 0.6$ という非常に大きな開口数を達成しているにも拘わらず、良好に収差が補正され、特に193.4nm $\pm 0.1\text{nm}$ での色収差補正がなされており、優れた結像性能を有していることが分かる。次に図6を参照して本発明による第3実施例を説明する。図6は、本発明の第2実施例による反射屈折光学系の構成を示す光路図である。

【0035】図6の反射屈折光学系の基本的な構成は、図1に示す第1実施例の反射屈折光学系とほぼ同じであるため、ここでは説明を省略し、各レンズ群のレンズ構成についてのみ説明する。図6において、第1レンズ群G₁は、物体側から順に、ビームスプリッタBS側に強い凸面を向けた両凸形状の正レンズ成分L1aと、両凹形状の負レンズ成分L1bと、両凸形状の正レンズ成分L1cと、物体側に凸面を向けたメニスカス形状の負レンズ成分L1dと、物体側に凸面を向けたメニスカス形状の正レンズ成分L1eと、物体側に凹面を向けたメニスカス形状の正レンズ成分L1fと、両凹形状の負レンズ成分L1gと、物体側に凸面を向けたメニスカス形状の負レンズ成

分L1hとから構成される。

【0036】また、第2レンズ群G₂は、開口絞りAS側から順に、両凹形状の負レンズ成分L2aと、像側に強い凸面を向けた両凸形状の正レンズ成分L2bと、両凹形状の負レンズ成分L2cと、像側に強い凸面を向けた両凸形状の正レンズ成分L2dと、開口絞りAS側に強い凸面を向けた両凸形状の正レンズ成分L2eと、同じく開口絞りAS側に強い凸面を向けた両凸形状の正レンズ成分L2fと、同じく開口絞りAS側に強い凸面を向けた両凸形状の正レンズ成分L2gと、像側に強い凹面を向けた両凹形状の負レンズ成分L2hと、開口絞りAS側に強い凸面を向けた両凸形状の正レンズ成分L2iと、開口絞りAS側に凸面を向けたメニスカス形状の負レンズ成分L2jと、開口絞りAS側に凸面を向けたメニスカス形状の正レンズ成分L2kと、同じく開口絞りAS側に凸面を向けたメニスカス形状の正レンズ成分L2lとから構成される。

【0037】以下の表3に本実施例の諸元の値が掲げられる。本実施例においては上記第1実施例と同様に、全系の倍率は1/4倍（縮小）であり、ウェハW側の開口数NAは0.6であり、ウェハW側における作動距離は15.0mmである。そして、本実施例の反射屈折光学系は、上記第1実施例と同様に、ウェハW上における光軸

$$d_0 = 96.384$$

	r	d	硝材
1	1566.352	33.601	SiO ₂
2	-258.445	42.686	
3	-303.358	35.000	CaF ₂
4	254.513	39.688	
5	408.129	35.000	SiO ₂
6	-292.562	0.500	
7	238.980	28.106	SiO ₂
8	177.718	35.520	
9	236.585	35.000	SiO ₂
10	258.786	35.249	
11	-1574.830	35.000	SiO ₂
12	-195.650	0.500	
13	-220.429	25.000	CaF ₂
14	228.713	7.071	
15	380.419	35.000	SiO ₂
16	274.848	10.847	
17	0.000	170.000	SiO ₂
18	0.000	10.000	
19	-644.053	-10.000	
20	0.000	-85.000	SiO ₂
21	0.000	85.000	SiO ₂
22	0.000	10.000	
23	0.000	16.475	
24	-240.493	27.541	SiO ₂
25	609.289	0.500	

Axからの像高が15.3mmまでの範囲において30mm×6mmのスリット状の露光領域を有する。また、本実施例におけるビームスプリッタBSは、170mm×170mm×190mmの直方体形状である。

【0038】また、表3においては、物体面としてのレチクルRのパターン形成面に相当する第1面から像面としてのウェハW面に相当する第2面へ向かう順序で各面の曲率半径r、面間隔dおよび硝材を示している。表3中において、各面の曲率半径rの符号は、レチクルRと凹面鏡Mの間ではレチクルR側に凸面を向ける場合を正としており、ビームスプリッタBSとウェハWの間ではビームスプリッタBS側に凸面を向ける場合を正としている。また、面間隔dの符号は、凹面鏡MからビームスプリッタBSの方向変換面に到る光路では負にとり、他の光路では正にとる。そして、硝材として、CaF₂は蛍石、SiO₂は石英ガラスをそれぞれ表す。ここで、石英ガラスおよび蛍石の使用基準波長（ArFレーザの波長： $\lambda = 193.4\text{nm}$ ）における屈折率は以下の通りである。石英ガラス：1.56019 蛍石

: 1.50138

【0039】

【表3】〔第3実施例〕

ビームスプリッタBS

凹面反射鏡M

方向変換面

開口絞りAS

17

26	648.361	39.879	CaF ₂
27	-161.540	0.500	
28	-161.204	15.000	SiO ₂
29	432.174	2.340	
30	513.767	39.791	CaF ₂
31	-245.896	0.500	
32	397.672	35.000	CaF ₂
33	-1373.400	0.500	
34	350.822	28.205	CaF ₂
35	-1504.430	0.500	
36	152.096	44.808	CaF ₂
37	-3015.120	0.546	
38	-3831.930	15.302	SiO ₂
39	292.927	0.657	
40	122.588	34.934	CaF ₂
41	1224.997	0.539	
42	1218.161	15.188	SiO ₂
43	74.562	8.605	
44	108.074	35.000	SiO ₂
45	377.013	1.406	
46	259.877	35.000	SiO ₂
47	767.722	15.000	

18

以下に第3実施例における条件対応値を示す。

- (1) $1/\beta_M = -0.116$
- (2) $L_1/f_2 = 2.053$
- (3) $\beta_2/\beta = -0.18$
- (4) $D_1/f_M = 0.40$
- (5) $D_2 \cdot NA/f_2 = 1.37$
- (6) $(\phi_3^{1/2} - 4d_M \cdot NA) / (f_2 \cdot (NA)^2) = 3.07$

図7に第3実施例の横収差図を示す。ここで、図7(a)は像高10割(像高15.3mm)における横収差図であり、図7(b)は像高5割(像高7.65mm)における横収差図であり、図7(c)は像高0割(光軸上:像高0.0mm)における横収差図である。なお、各横収差図において、実線は基準波長($\lambda = 193.4\text{nm}$)における収差曲線を表し、点線は波長 $\lambda = 193.5\text{nm}$ における収差曲線、一点鎖線は波長 $\lambda = 193.45\text{nm}$ における収差曲線、破線は $\lambda = 193.35\text{nm}$ における収差曲線、二点鎖線は波長 $\lambda = 193.3\text{nm}$ における収差曲線をそれぞれ表す。図7に示す各横収差図より、本実施例による反射屈折光学系は、 $NA = 0.6$ という非常に大きな開口数を達成しているにも拘わらず、良好に収差が補正され、特に $193.4\text{nm} \pm 0.1\text{nm}$ での色収差補正がなされており、優れた結像性能を有していることが分かる。

【0040】尚、上述の各実施例において、ビームスプリッタBSの方向変換面は、例えば誘電体多層膜からなる偏光分離面であることが好ましい。このときには、ビームスプリッタBSの凹面鏡Mに対向する面上に $\lambda/4$ 板を設ける。また、上記誘電体多層膜において、収差が

発生する場合には、ビームスプリッタBSの第1レンズ群G₁に対向する面、凹面鏡M側に対向する面及び第2レンズ群G₂に対向する面のうちの少なくとも一面に誘電体多層膜にて発生する収差を打ち消す薄膜を設けることが好ましい。このような薄膜としては、例えば厚さまたは屈折率が部分的に異なる構成のものを用いれば良い。

30 【0041】また、上述の各実施例においては、第1レンズ群G₁から凹面鏡Mに向かう光束がビームスプリッタBSの方向変換面を透過し、かつ凹面鏡Mから第2レンズ群G₂へ向かう光束がビームスプリッタBSの方向変換面にて反射する構成であるが、第1レンズ群G₁からの光束をビームスプリッタBSの方向変換面にて反射させて凹面鏡Mへ導き、かつ凹面鏡Mからの光束をビームスプリッタBSの方向変換面を透過させて第2レンズ群G₂へ導く構成としても、光学設計上においては等価なものである。

40 【0042】

【発明の効果】以上の通り本発明によれば、像側において大きな開口数を達成し、かつ十分な像側作動距離を確保し、さらにビームスプリッタの小型化を図ることができ、クォーターミクロン単位の解像を達成することができ。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施例による反射屈折光学系の光路図である。

【図2】第1実施例の反射屈折光学系の露光領域を示す平面図である。

19

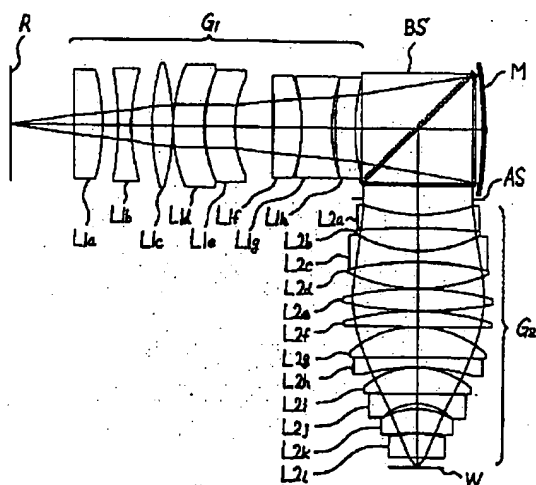
【図3】第1実施例の横収差図であり、図3(a)は像高10割における横収差図であり、図3(b)は像高5割における横収差図であり、図3(c)は像高0割における横収差図である。

【図4】本発明の第2実施例による反射屈折光学系の光路図である。

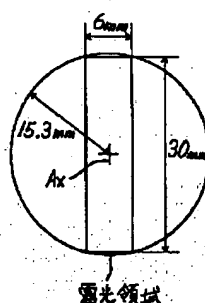
【図5】第2実施例の横収差図であり、図5(a)は像高10割における横収差図であり、図5(b)は像高5割における横収差図であり、図5(c)は像高0割における横収差図である。

【図6】本発明の第3実施例による反射屈折光学系の光路図である。

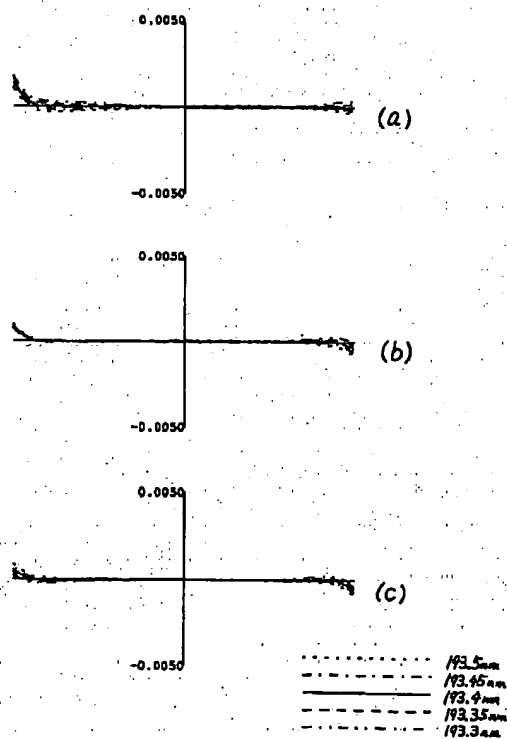
【図1】



【図2】

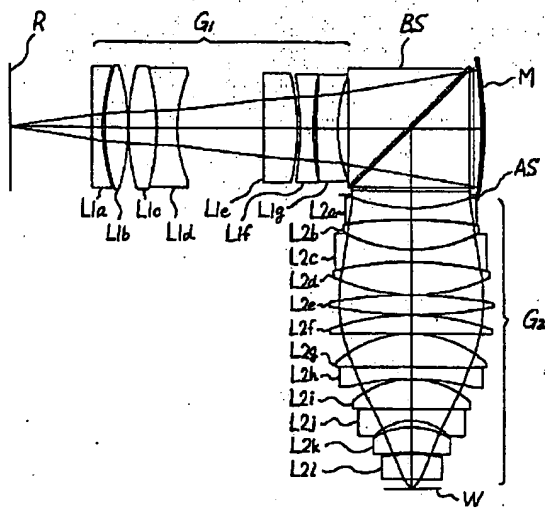


【図3】

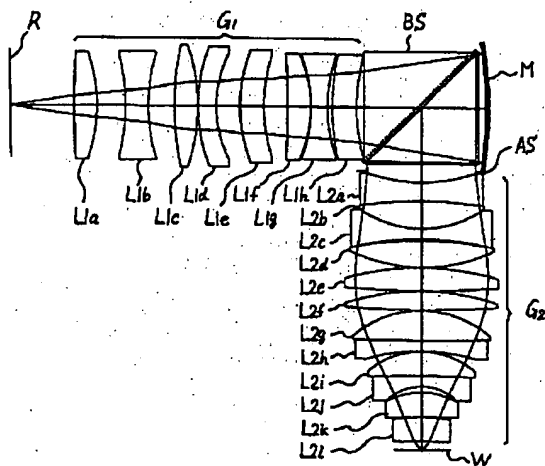


..... 193.5nm
 193.45nm
 193.4nm
 193.35nm
 193.3nm

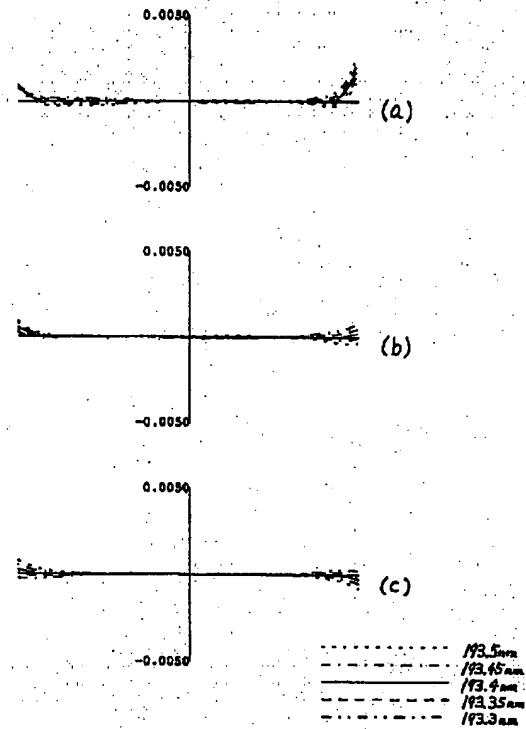
【図4】



【図6】



【図5】



【図7】

